

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表 2001-502256

(P 2001-502256A)

(43) 公表日 平成13年2月20日 (2001. 2. 20)

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード* (参考)

B 2 9 C 67/00

B 2 9 C 67/00

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

N

Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平10-517292
 (86) (22) 出願日 平成9年10月6日 (1997. 10. 6)
 (85) 翻訳文提出日 平成11年4月9日 (1999. 4. 9)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB97/02723
 (87) 国際公開番号 W098/15858
 (87) 国際公開日 平成10年4月16日 (1998. 4. 16)
 (31) 優先権主張番号 9621049. 7
 (32) 優先日 平成8年10月9日 (1996. 10. 9)
 (33) 優先権主張国 イギリス (GB)
 (81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CN, GB, JP, US

(71) 出願人 イギリス国
 イギリス国 ハンプシャー ジーユー14
 0エルエックス ファーンボロー アイヴ
 エリーロード (番地なし) ディフェンス
 エヴァリュエーション アンド リサーチ
 エージェンシー
 (72) 発明者 シェパード テランス ジョン
 イギリス国 ウースターシャー ダブリュ
 ーアール14 3ピース モルヴァーン
 セント アンドリュース ロード (番地なし)
 ディーアールエイ モルヴァーン
 (74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

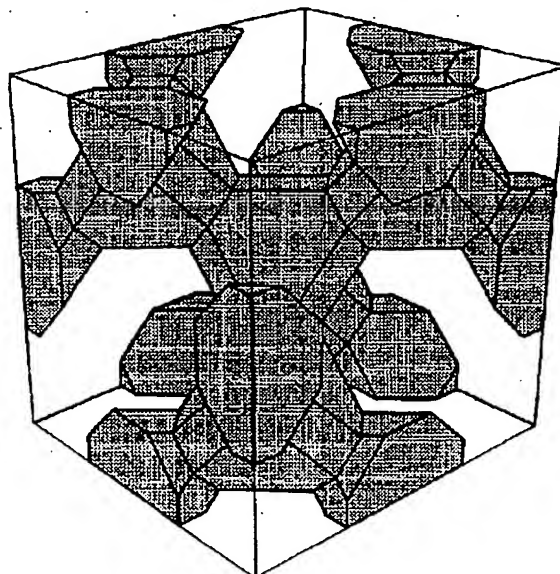
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】誘電体コンポジット

(57) 【要約】

フレキシブルコンピュータ設計段階で、第2の誘電体コンポーネントの急速な成長を含む周期的な誘電体コンポジットの製造の新規な方法。レーザステレオリソグラフィは、液体の光重合によって層毎にポリマー材料を形成するのに使用される。この仕方では構築された所定の材料は、周波数の所望のバンドに関する材料を介してマイクロウェーブ伝搬に対して完全に損失のないバリアーを示し、フォトニックバンドギャップ結晶として一般的に知られている。かかる材料は、全角広及び狭バンドブロックフィルタ、狭バンド透過フィルタ、平面アンテナのための反射及び損失のない基板、及び、発振器キャビティ及び導波管に関する新規で損失のない媒体を提供し得る。更に、特に、上述した製造方法及び連鎖する多面体の構築に適している新規な結晶構造を示す。

Fig.4.



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

1. 2つの材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットを製造する方法であって、前記材料は十分に異なる電氣的誘電率を有し、該コンポジットが周波数の範囲に関する電磁放射に対するバリアーを提供し、
バッチモノマーの選択的局所重合によって、3次元構造を形成し、前記構造は、高電氣的誘電率材料に対応するコンポジット及びボイドの低電氣的誘電率材料を有し、
前記ボイドにおいて高誘電率材料を鑄造する、
ステップを有する方法。
2. 前記3次元構造が、レーザを用いてバッチモノマーの選択的局所光重合によって形成される、請求の範囲第1項に記載の方法。
3. 前記高誘電率材料が、硬化可能ホストポリマーにおいて高誘電率粉末を有する、請求の範囲第2項に記載の方法。
4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項において定義された方法によって作り出された誘電体コンポジット。
5. 低誘電率材料及び高誘電率材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットであって、前記材料は十分異なる電氣的誘電率を有し、前記コンポジットは、周波数の範囲に関して電磁放射に対してバリアーを提供し、高誘電率材料の構造は連鎖する多面体である、誘電体コンポジット。
6. 各多面体が、少なくとも1つのエッジ及び／又は少なくとも1つの頂点の除去によって形成された切頭四面体である、請求の範囲第5項に記載の誘電体コンポジット。
7. 各頂点が除去された、請求の範囲第6項に記載の誘電体コンポジット。
8. 各エッジが除去され、対応する頂点の除去によって形成された各切頭面が正六角形である、請求の範囲第7項に記載の誘電体コンポジット。
9. 前記切頭四面体が、1つの切頭四面体のオリジナル四面体の面が連続する切頭四面体の切頭エッジの面と隣接するという仕方で、各六角形切頭頂点で一対となって接続される、請求の範囲第8項に記載の誘電体コンポジット。

10. 低誘電率材料及び高誘電率材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットであって、前記材料は十分異なる電氣的誘電率を有し、前記コンポジットは周波数の範囲に関して電磁放射に対するバリアーを提供し、前記低誘電率材料が重合によって形成されたポリマーを有する、誘電体コンポジット。
11. 前記高誘電率材料が、高誘電率粉末とホストポリマーとの混合物を有する、請求の範囲第10項に記載の誘電体コンポジット。
12. 前記高誘電体粉末が、チタン酸カルシウムを含む、請求の範囲第11項に記載の誘電体コンポジット。
13. 前記ホストポリマーがビニルエステルポリマーである、請求の範囲第11項又は第12項に記載の誘電体コンポジット。
14. 前記コンポジットが対称劈開欠陥 (symmetry-breaking defects) を有し、その結果、電磁放射に対して選択的透過が生じ、かかるコンポジットが少なくとも狭バンドノッチフィルタの部分形成する、請求の範囲第4項乃至第13項のいずれか1項に記載の誘電体コンポジット。
15. コンポジットが、ダイポールアンテナのための基板の少なくとも一部を形成する、請求の範囲第4項乃至第13項のいずれか1項に記載の誘電体コンポジット。
16. 少なくとも導波管の一部を形成し、該導波管が、電磁放射を受信するための入力端と、出力端とを有し、前記誘電体コンポジットが、電磁放射を入力端から出力端まで伝搬させることができる対称劈開欠陥を有する、請求の範囲第4項乃至第13項に記載の誘電体材料。
17. キャビティ発振器における放射受信構成要素を形成し、前記コンポジットが電磁放射を入力端から出力端まで伝搬させることができる対称劈開欠陥を有する、請求の範囲第4項乃至第11項に記載の誘電体コンポジット。

【発明の詳細な説明】

誘電体コンポジット

本発明は、誘電体コンポジットを製造する方法と、それによって形成された誘電体に関する。用語コンポジットは、2つの材料の間に不連続な界面を有する2つの材料を含むいかなる媒体をも意味することを意図する。

電氣的バンド構造は、ほとんどの物理及び電気工学の技術者にとって良く知られた概念である：結晶材料のバンド構造は、印加された電界の影響下で、材料内を移動する電子にアクセスすることができるエネルギーの範囲を示したものである。かかる材料における特別の興味は、結晶中の伝搬にかかるエネルギーによって処理される電子を禁制する「電氣的バンドギャップ」である。かかるギャップは、結晶中の一貫する原子又は分子の周期的な配列から形成される結晶面からのブラッグ反射された電子の波動関数の相殺的干渉から生じる。ギャップは、熱的及び電氣的伝導度のようなかかる巨視的な現象を説明する際に有益であり、半導体の設計において利用され、それゆえ電子デバイスの設計に利用される。

Yablonovitch [1] 及びジョン [2] は、類似の原理は周期的媒体に伝播する電磁気 (EM) の分野に応用されるべきであると提唱した。つまり、誘電率の空間的な周期的分布は、EM電波が周期的媒体内のいかなる方向でも禁じられている周波数の範囲である”フォトニックバンドギャップ”を引き起こすことができる。かかる材料は”フォトニック結晶”として周知である。”フォトニック”という用語は、EMスペクトルの光学的かつ近赤外線範囲の現象との関連を意味し、むしろ、これはYablonovitch等による応用範囲であった。しかしながら、この現象の原理は全EMスペクトルにわたり、ここに提唱された特定の実例はマイクロウェーブ範囲に関するけれども、この明細書では本発明や他の範囲の領域に制限して解釈すべきではない。

面心立方 (FCC) 結晶格子は初め、フォトニックバンドギャップをみるのに最適な構造であるとしてYablonovitch及びジョンの両者によって提案された。す

べての14ブラベー格子のほぼ球体のブリュアン帯を有し、完全（すなわち全 4π ステラジアンを超えて延びる）かつ絶対的（すなわちEMポーラリゼーション（

polarisations) の両方を摘要) なバンドギャップをたいいてい有する。完全な結晶構造の全ての説明は、空間における誘電体分布機能として方式 (ユニットセルの内容) の明細を必要とする。

Yablonovitch等〔3〕は、マイクロウェーブ周波数の完全かつ絶対的なフォトリックバンドギャップの存在を示すことができた。独占権を有する同種の高誘電率かつ損失のない材料stycast Hi-K (商標) に突き通すことによって形成されるFCC結晶における効果を首尾良く提示した。エマーソンとカミング (現在W. R. Graceの一部) によって製造されたこの材料は、低誘電率ポリマー (ポリスチレン) 及び高誘電率の粉末の充填材 (チタン二酸化物) を有するコンポジットである。3から30の誘電率を備えた誘電体ローディングの範囲で市販されている。Yablonovitchは誘電率12 (光学周波数でGaAsの誘電率、13.6に最も近い) を選択した。構造はポリマーの表面の点の六角形の配置にある各点を通して3つの丸い円筒形の間隙を突き通すことにより製作された。各シリンダーは垂直方向に34.26°の角度であり、互いに方位角上120°の角度の3つの間隙を備える。表面の穴は1mmで分けられ、0.5mmの半径を有する。この穴開け過程は〔111〕方向に対称の単一軸とともにFCC結晶を形成するように材料内で円筒形の間隙が交差する構造をつくる。構造は78%空である。これは認可(patented)構造〔3a〕であり、"Yablonovite"〔4a〕と称される。

Yablonovitch〔3〕はまた、〔111〕方向に垂直な平面における3セットの穴をドリルすることを伴う別の構造を提案した。後者の構造は完全な6摺曲(fold)ダイヤモンドの対称性を有し、穴開け方法を使用して製作することが実行不能であると証明した。3シリンダー構造〔4b〕より大きいバンドギャップを有すると予測されている。

3シリンダー材料は結晶層あたり9dBのレベルに伝播を抑制することがYablonovitch〔3〕によって示されている。〔111〕方向には、15GHzの、6層の結晶が中心周波数の20%幅以上の超える変換スペクトルで周波数ギャップを超え50dB弱化を示す。更に重要なのは、結晶構造における損失が内部

誘電性ブリッジを破壊することで持ち出される時、細い伝送ピークがギャップ〔

5] の中心に表れる。

3次元フォトニック結晶の製作のための別の構造はrefs. 5a、5b、及び5cに説明されている。これは、間隔を隔てた誘電性ロッドの層ごとの配置を含み、通常矩形の断面図である。このシステムの有用性は、構造が1次元エッチンググレーティングのウェハをスタックすることにより製作可能であることである。

これらの構造のそれぞれは非常に特別のタイプであり、製作の特別な方法と関連している。事実、原理上はフォトニックバンドギャップ現象を引き起こすことのできる無限大の構造が存在する。これらの構造のひとつが、これらより良い物理的屬性（すなわち構成材料の与えられた誘電性コントラストとしてのギャップの幅に関して）を有することが可能である。

材料内の伝播の抑制は、吸収性の損失を伴わずに全ての角度でバンドギャップ内の全ての入射放射に反映して効果的に結晶のブロックを与える。これこそがストップバンド内の選択的なスペクトル透過率を伴った、ポテンシシャルアプリケーションの意味での事柄に関する属性である。

バンドギャップ自体が広い（中心周波数〔4〕の30%まで）ブロッキングフィルターを与えるように作られても良く、対称的な劈開欠陥の導入がギャップ内の変換ウィンドウを引き起こすことができる。ギャップの幅に関して非常に細く作られても良い。結果は狭帯域ノッチフィルターである。

他のポテンシシャルアプリケーションはダイポールアンテナのための完全反射基板であり、フォトニック結晶が有効なミラーとして作用し、発生する放射線の大部分が変換され、該基板で吸収されないようにする。初期の調査では、かかるアンテナ〔6〕からの改良された効率を既に有している。さらなるアプリケーションが導波管及びキャビティ発振器のための損失のない媒体である。これらの構造のさらなるアプリケーションの多数は参考文献5dに示されている。

本発明はステレオ・リソグラフィ（SL）高速プロトタイプの使用を用いる。SLは、広範囲の3次元オブジェクトを製造することができる多くの高速プロトタイプング技術のひとつである。SL装置（SLA）はコンピュータ援用設計（CAD）ワークステーションシステムでつくられたコンピュータファイルによる、数時間で

つくられる肉眼で見える3次元オブジェクトである。

この設計は独占権を有する立体モデリングCADソフトウェアを使用して実施される。ソフトウェアパッケージはCADファイルを.STLファイル（高速プロトタイプングで使用されるファイルタイプのための標準付加としての.STL）に出力させるフィルターを含む。.STLファイルは次いで、立方体の構築に必要とされる支持構造を含むように独占権を有するソフトウェア（“Bridgeworks”）を使用して修正される。最後に、さらなる独占権を有するソフトウェア（3Dシステムによって供給される“Maestro”。下記参照）が付属のPCコンピュータを經由してSLAマシンを駆動させるのに3次元オブジェクトから適切なパラメータを計算する。

本発明によれば、2つの材料の周期的な空間的配置を有する誘電体コンポジットを製造する方法であって、前記材料は十分に異なる電氣的誘電率を有し、該コンポジットが周波数の範囲に関する電磁放射に対するバリアーを提供し、

バッチモノマーの選択的局所重合によって、3次元構造を形成し、前記構造は、高電氣的誘電率材料に対応するコンポジット及びボイドの低電氣的誘電率材料を有し、

前記ボイドにおいて高誘電率材料を鑄造する、
ステップを有する方法である。

好ましくは、3次元構造はレーザを使用するバッチモノマーの選択的な局所的な光重合により形成され、更に好ましくは、より高い誘電性材料は硬化できるホストポリマーにおける高誘電性粉末を有する。

本発明の第2の態様によれば、新規な結晶はここに説明されるようなTapsteriteの構造を有する。

次に、以下の図面を参照して例示的なものによってのみ本発明を記載する。

図1は、本発明による第1のサンプルの透過特性に関する性能データを示す。

図2は、本発明による第2のサンプルの透過及び反射特性に関する性能データを示す。

図3は、新しい結晶構造が本発明によって作り出された切頭四面体を示す。

図4は、本発明によって作り出された結晶構造に対応する第1のユニットセル

を示す。

図5は、本発明によって作り出された結晶構造に対応する第2のユニットセルを示す。

SLA機械の主な製造者は、米国カリフォルニア州Valenciaにある3D Systemsである。本発明の特定の実施形態で使用されるSLA-250/40機械は、SL-5170液体樹脂の254mm×254mm×254mmバットを包含する紫外線スクリーンからなる。チバガイギーによって製造された樹脂(C

IBATOOL®SL樹脂)は、紫外線に曝されることによって硬化される。システムは、235nmで放射される、25mWのHeCdレーザを包含する。内部光学系は、樹脂の表面でレーザビームを検知し、ビーム幅は約0.2mmである。光学系は、接続されたPCコンピュータから伝えられたデジタル命令に従って、ビームを樹脂の表面に亘って走査する。

樹脂の表面で局所的キュアリングを行う。表面の完全な走査は、表面直下に位置決めされたエレベータプラットフォームで厚さ0.125mmの樹脂の層を選択的に重合させる。樹脂バット内の下部にあり、次いで液体樹脂の表面の下0.125mmの位置に上がる各層が、エレベータプラットフォームを走査した後、次のレーザ走査の準備ができています。従って、3次元構造が所望の高さまで層ごと(layer-by-layer)に構築される。構造体(structure)の構築の終わりで、バットから上げられ、構造体から過剰液体樹脂を干すためにそのままにする。

次いで、残っている過剰な液体樹脂を除去するために構造体をイソプロピルアルコール(IPA)(即ち、プロパン-2-オール)又はトリプロピレングリコールモノメチルエーテル(TPM)を用いて洗浄し、最後に、後硬化装置(PCA)で硬化し、洗浄されたオブジェクトを水浴し、残っている全ての未硬化モノマーを紫外線で硬化させる。

このプログラムに採用された製造プロセスは、以下の段階を含む。まず、高誘電率構造はCADプラットフォームで設計され、負の構造に変換される。即ち、高誘電率領域は空であり、逆の場合も同じである。結果として生じるファイルは、次いで、急速プロトタイプ機械(この場合、ステレオリソグラフィ装置、即ちS

LA) によって読まれることができるフォーマットに変換される。SLAは負のプリフォームを成長させる。結果として生じたオブジェクトは、低誘電率（エポキシ樹脂）モールドであり、高誘電率材料を真空キャストすることができる。実際には、挿入された材料は、液体樹脂を装填する高誘電率粉末を包含する。SLAエポキシ誘電率は、十分且つ絶対的な光学的バンドギャップの形成のために十分高い誘電率を有するための複合材料に関して十分低い（マイクロ波周波数2乃至30GHzでチバガイギーSL5170に対して3の相対誘電率である）。

この方法は、上述した標準SL方法を使用してSLポリマー以外の周期的材料の初期製造を包含する。実際には、これは、CADソフトウェアにおける関連する構造的ユニットセルの幾何学の最初の設計（仕様）を包含する。この例では、SLポリマーは結晶の低誘電率構成要素で指定される。

次のソフトウェア操作は、周期的な構造を作り出すためにユニットセルの複製を定義する。更なる操作は、関連するデバイスを定義するために構造を修正することができる。

構造体又はデバイスは標準SL技術を使用して成長される。

構造の空の隙間は、必要な定数を提供する高誘電率材料で満たされる。実際には、これは、硬化可能なホストポリマーを備える低損失粉末であり、高誘電率の混合で構成された詰め物の準備を含む。詰め物はSL樹脂モールドに導入され、真空状態で注入され、その後固まらせる。

第1のサンプルは、MacNeal Schwendler Corporationによって開発されたAries 3次元モデリングCADソフトウェアを使用してSun Workstationで辺が9.86mmの立方体ユニットセルによって準備される。第2のサンプルはまた、第1のサンプルの設計で使用されたのと同じシステムで辺が17.08mm、12.08mm及び6.97mmの立方体ユニットセルを設計することによって準備される。両サンプルについて使用される構造は、他で記載される交わる四面体タイプである。採用された詰め物の一部は、70%低誘電率材料乃至30%高誘電率材料で設計される。構成材料の次に測定された誘電率は、3及び12.5である。

STLフォーマットにファイルされた2つのユニットセルは、Silicon

Graphics Indyワークステーションに転送され、第1のサンプルにおいては、 $2 \times 3 \times 4$ 単位立方体ユニットセルの層を、第2のサンプルにおいては、(3D System Inc.によって供給された)所有Maestroソフトウェアを使用して 20×2 立方体ユニットセルの層を与えるように複製され、次いで、サポートのグリッドが(米国カリフォルニア州ValenciaのSolid Conceptsによって提供される)所有ソフトウェアBridgeworksを使用して構造に加えられる。Maestroソフトウェアはまた、構造を構築するためにSLA機械に必要なパラメータを計算するのに使用される。これは、最後のオブジェクトが構築されるSLポリマーの各スライスのパラメータから計算する自動「スライス(slicing)」ルーチンである。PCソフトウェアは(「ベクトル」、「範囲」、「層」及び「パラメータ」と名付けられた)4つの「構築」ファイルを出力する。

次いで、ワークステーションからのファイル出力は、SLA機械に接続されたPCコンピュータに入力され、(3D System Inc.によって供給される)System Controls of tware 3D Buildを包含し、機械は関連するサポートで下部層を構築するために命令されるが、サポートなしで各々存在する層の上に垂直に位置決めされた次の同一の層を構築するために命令される。作り出された最後の構造は、第1のサンプルに関しては、寸法が約 $227\text{ mm} \times 227\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ であり高さが23立方体ユニットセルであり、第2のサンプルに関しては、寸法が約 $242\text{ mm} \times 237\text{ mm} \times 34\text{ mm}$ であり高さが34立方体ユニットセルである。

(立方体ユニットセルに対応する)第1のサンプルの方位は、大きな面が結晶の $[100]$ 方向を表すように配列している。(立方体ユニットセルに対応する)第2のサンプルの方位は、大きな面が結晶の $[111]$ 方向を表すように配列している。

サンプルは次いで、TPMで洗浄され、上述したPCAで硬化される。

プレフォームサンプルに注入するために選択された高誘電率の詰め物はチタン酸カルシウムである。ポリマーホストは、触媒としてButanox LPTを使用するDerakane 8084のScott Baderによって製造された低粘性ビニルエステル系

である。

チタン酸カルシウム粉末は、37体積%のレベルまで液体樹脂詰め物で混合される。ゲル時間は、使用できる30分のるつぼ期間が与えられた樹脂系に加えられたとき、触媒の5重量%と促進因子の5重量%によって示されてテストされる。混合物の固体硬化サンプルが最初に得られ、硬化することができ、次いで、誘電体プローブで解析され、装置の正確さの範囲内でゼロの虚数部分で ($\pm 0.1i$ の正確さで)、10GHzの周波数で12.5の相対誘電率の値を記録し、即ち、硬化された混合物は測定された周波数で些細な損失を示す。

5点抽出を備える真空キャップは、サンプルの注入のために作り出される。このキャップは、単一のモールドの上をエポキシ樹脂を予め染み込ませたグラスファイバーを使用して製造される。British Standardパイプ連結は、その後、キャップに開けられた穴を介して加えられ、真空トラップを介して真空ポンプに接続される。樹脂タンクは、注入されうるサンプルよりも僅かだけ大きいように作られたものが使用される。

真空ポンプは、気泡を有しない樹脂が注入されたブロックから樹脂トラップ内に引かれるまで、スイッチオンであり稼働することができる。接続パイプのタップは、次いで、閉じられ、真空ポンプはスイッチオフにされる。余剰樹脂は次いで、ブロックの頂部に近いレベルまで洗浄機を用いて除去する。いったん、樹脂がゼリー状の粘稠度に硬化したならば(約30分)、ブロックを除去し、余剰樹脂をこすり取り、真空キャップを除去する。樹脂を完全に硬化することができ、ブロックをその後除去する。

上述の方法で製造された第1のサンプルの伝搬特性は、放射がその大きな面[100]結晶方位に対して垂直に第1のサンプルを通過するように、第1のサンプルのどちら側でも60cmに位置決めされ、Flann Microwave DP240広帯域トランスミッタ及び受信機ホーンを使用して周波数の範囲を超えて測定される。

伝搬信号は、2乃至20GHzの掃引周波数を提供するHewlett-Packard Vector Network Analyser 8720Bによって生成される。

伝搬信号は、同じNetwork Analyserによって解析され、200KHzインターバルで

測定値を表示する。伝搬応答のスムーズな部分を図1に示す。約14GHzに中心を有し、12GHzの値に関して約10dBの伝搬のドロップを示し、その値は数値計算によって予測される。ギャップの幅は、約3GHzであり、中心周

波数の約20%である。上述の方法で製造された第2のサンプルの透過及び反射特性は、マイクロウェーブトランスミッタを使用して周波数の範囲を超えて測定され、レシーバホーンは真のガウス分布ビームプロファイル进行处理する。(ホーンの内側円周面は波形である。)トランスミッタホーンは、マシン放物面ミラーから0.5mに位置し、ミラーから0.5mに位置決めされた第2のサンプルの[111]面に対して90°で入射放射を反射する。第2のサンプルを介して透過された放射は、第2の同一のレシーバホーンに同一のミラーによって90°で反射される。各ホーンは、Wiltron360サーキットアナライザに接続され、今度は、パーソナルコンピュータコントローラによってインターフェースされる。当該システムは、8.2GHzから18GHzまで信号を生成するために6737Bシンセサイザを使用する。

透過及び反射された信号は、同じサーキットアナライザによって解析され、200KHzインターバルで表示される。透過及び反射スペクトルは、1つの対は、8.2GHz乃至12.4GHzの範囲をカバーし、2つ目は12.4GHz乃至18GHzの範囲をカバーする、2つの異なる対のホーンを使用して与えられる周波数インターバルを超えて得られる。

結果のスペクトルを図2に示す。パラメータ s_{11} 及び s_{22} は、2つの対向する[111]面に対する放射入射に関する第2のサンプルの反射係数を示し、 s_{12} 及び s_{21} は、それぞれの面に対応する透過係数を示す。透過係数は15GHzでの値に関して約12dBの透過のドロップを示し、ドロップは数値解析によって予測された値である約12GHzで中心を有する。ギャップの幅は、約4GHzであり、中心の周波数のおおよそ1/3である。第2のサンプルの反射率 s_{22} が、14.5GHzでのその値に対するバンドギャップにおいて約20dBによって上昇する。 s_{12} 及び s_{21} によって表された測定の間観測された反射の相異は、満たされているキャビティにおける好ましい位置を占有する高誘電性フィルタに

おける僅かな不完全性（バブル）からひょっとしたら生じる2つの面の間の第2のサンプルにおける小さな非対称を示す。

上述した3-及び6-シリンダYablonovite構造に加えて、組み合った四面体で構成された更なる構造が発明された。発明者は、「Tapsterite」構造と名付けた。

それは、6-シリンダYablonoviteの完全なダイヤモンド対称を持っており、かくして、同じ誘電率に関して、3-シリンダYablonoviteよりも広いバンドギャップを示す。

湾曲した表面ではなく、平面と真っ直ぐなエッジとから主に構成された構造であるので、それ自身を標準的な機械加工の方法を使用する簡単な製造に加えることはできない。しかしながら、理想的なSL方法に関して、及び、CAD装置で最初の設計をするいかなる方法に関しても、Ariesソフトウェアが、湾曲ではなく基本的な面として表面をストアするので、3-シリンダYablonoviteの254ユニットセルを記述するSTLファイルが24.8Mバイトのファイルサイズを占有し、6-シリンダYablonoviteの同じ数のユニットセルが35Mバイトを占有し（この例では、40の平らなファセットからなる各円形の円柱状ホール）、同じ数のセルでTapsteriteは9.1Mバイト占有する。第2に、SL構築は、樹脂のレーザ走査が直線によって定義されたのと同じくらい早い。

Tapsteriteは、そのネガティブ構造がまたTapsteriteの形態（勿論、結合充填部分を備えている）であるという特徴を有する。

以下は、Tapsterite構造の高誘電率部分の幾何学的な記載である。該構造は、切頭四面体からなる。各切頭四面体は、（その特徴の一意的な形状によるものである）正四面体の切頭によって形成される。オリジナルの四面体の3つの面によって構成される3つの面である、四面体の各頂点又は角から小さな正四面体を除去し、これらの4つの四面体は同じサイズである。

オリジナル四面体の中心から各エッジの中心点まで引いた線に対して垂直な長方形平面に沿って切断するように、結果として生じた物体を、（オリジナル四面体の面の交差する線の）6つのエッジを除去することによって更に切頭する。こ

の面の位置は、オリジナル四面体の切頭された頂点がいま正六角形平面を示すようになっている。図3は、かかる完全に切頭された四面体を示し、切断エッジのうちの1つの例は長方形ABCDである。

切頭プロシージャは、いったん各頂点の切頭の度合いを決めたら、一意的である。最終的な結晶の組成コンポーネントに関する充填部分は、切頭のこの度合いによって決定される。

結晶構造は、以下の方法において、切頭四面体(TTs)の連結によって定義される: TTsは、1つのTTのオリジナル四面体の面が連続するTTの切頭されたエッジの面に隣接する仕方、各正六角形切頭面で一對として接続される。

結晶(及び、上述した第1のサンプルを生成するのにも使用される)立方体ユニットセルは、以下の特定の方位において(必要ならば切頭された)丁度8個のTTsを包含するキューブによって構成され: 各TTの対向する長方形の面の中心を結合する線は、立方体セルを囲むキューブの面に対して平行である。立方体セルの内容は、どんな方向にでも、任意の線形並進に従事して構成される。図4は、かかる立方体ユニットセルの例を示し、5個の完全なTTs及び12個の $1/4$ TTsを包含し、ここで、 $1/4$ TTsの中心はユニットセルエッジの $1/2$ の中心部分に位置する。

上述したような第2のサンプルを生成するのに使用される立方形(cuboid)ユニットセルは、別の方位の構造に基づいており、図5に示す。セルは、(可視の)頂点T, U, V, W, X, Y, Zを備える立方形をなす。それは、記載された立方形の外側、且つ、(可視の)頂点M, N, O, P, Q, R, Sを備える示した包囲キューブの内側の材料を除外することによって形成される。(除外する前の)この後者のキューブの内容は、より大きなキューブを形成するために切頭された、以前の段落に記載したような、8つの立方体ユニットセルの内容として定義される。座標系を参照すると、座標の原点はこの大きなキューブの中心であり、点(x, y, z)は、(0, 0, 0)で原点を有する座標x, y及びzによって記載され、次いで、大きなキューブの頂点M, N, O, P, Q, R及びSは、それぞれ、特定の値(-1, -1, 1)、(-1, 1, 1)、(1, 1, 1)、

(1, 1, -1)、(1, -1, -1)、(-1, -1, -1)、(-1, -1, 1) 及び (1, -1, 1) として記載することができる。内部の立方形は次いで、(可視の) 頂点 T, U, V, W, X, Y, Z は、特定の値 $(-1/2, -1, 0)$ 、 $(-1, -1/2, 0)$ 、 $(0, 1/2, 1)$ 、 $(1/2, 0, 1)$ 、 $(1/2, 1, 0)$ 、 $(1, 1/2, 0)$ 、 $(0, -1/2, -1)$ を有する。立方形の内容は、どんな方向においても線形並進に従事して構成され、かかる立方形の内容は、所望の方位を備える完全な結晶格子を作り

出すために繰り返されるユニットセルとして役立つ。

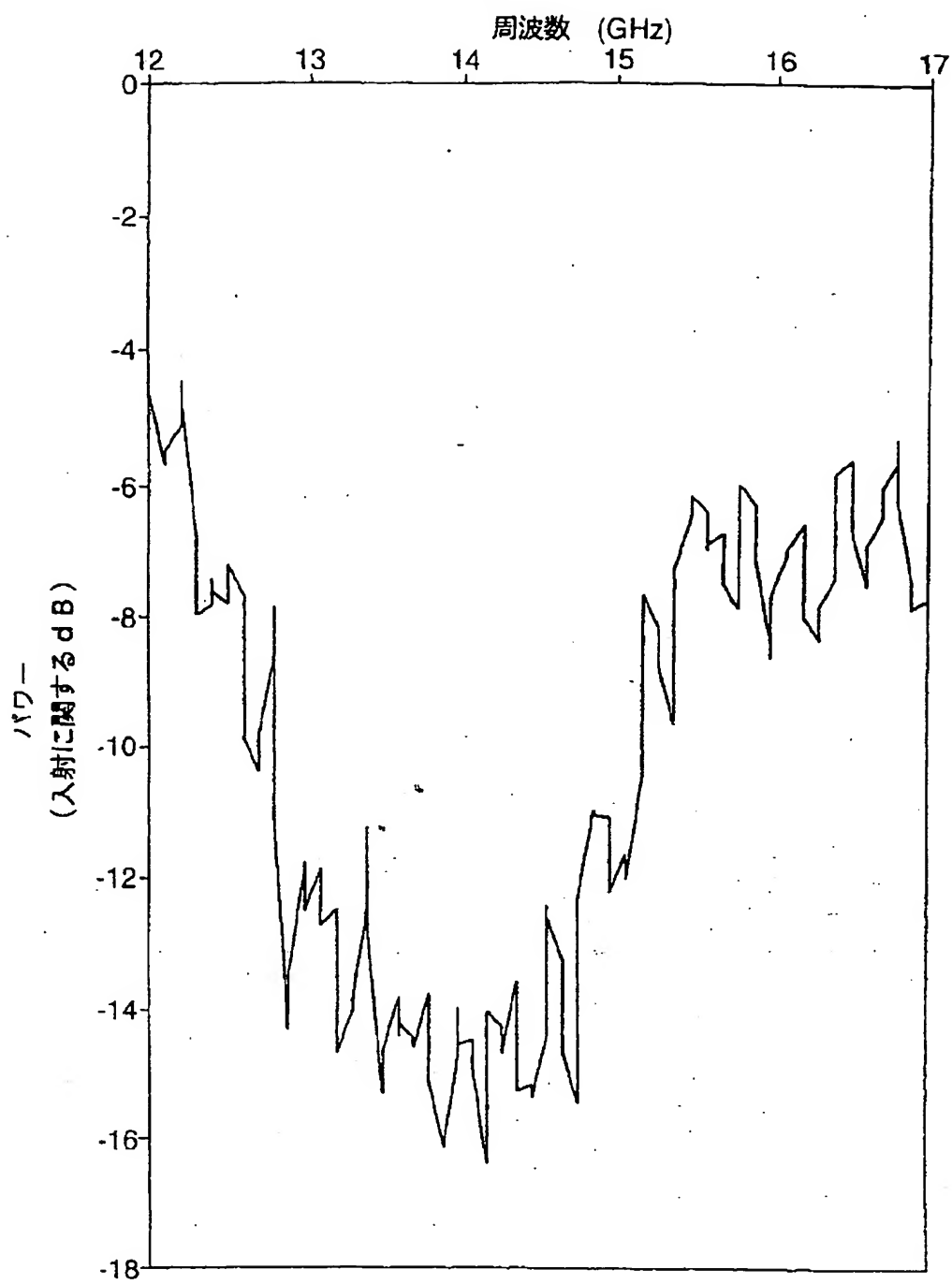
参考文献

- 1 YABLONOVITCH, E., Inhibited spontaneous emissions in solid-state physics and electronics, Phys. Rev. Lett. 58, 2059, 1987.
- 2 JOHN, S. Strong localisation of photons in certain disordered dielectric superlattices, Phys. Rev. Lett. 58, 2486, 1987.
- 3 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T. J., and LEUNG, K. M., MEADE, R.D., RAPPE, A. M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, K. M, 3-dimensional photonic band structure, Opt. And Qu. Elect., 24, S273, 1992.
- 3a YABLONOVITCH, E., Optical Reflector Structure, Device, Method of Fabrication, and Communications Method, Int Patent Classification G02B X, Int. Publication No. WO 92/11547, 1992年7月9日
- 4a JOANNOPOULOS, J.D., MEADE, R.D., and WINN, J.N., Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, (Princeton University Press, Princeton, N.J., 1995).
- 4b CHAN, C.T., HO, K.M., and SOUKOULIS, C.M., Photonic band gaps in experimentally realizable periodic dielectric structures, Europhys. Lett. 16, 563, 1991.
- 5 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T.J., MEADE, R.D., RAPPE, A.M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, J.D., Donor and acceptor modes in photonic band structure, Phys. Rev. Lett. 67, 3380, 1991.
- 5a OZBAY, E., TUTTLE, G., MICHEL, R., HO, K-M., BISWAS, R., CHAN, C-T.C., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure for Production of Photonic Band Gap and Method for Fabricating the Same, 米国特許第 5,406,573 号, 1995年4月11日。
- 5b HO, K-M, CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure of Photonic Band Gap and Devices Incorporating the Same, US Patent No. 5,335,250, Aug. 2, 1994; Int. Patent No. H01S3/18, Int. Publication No. WO 94/15389, 1994年7月7日

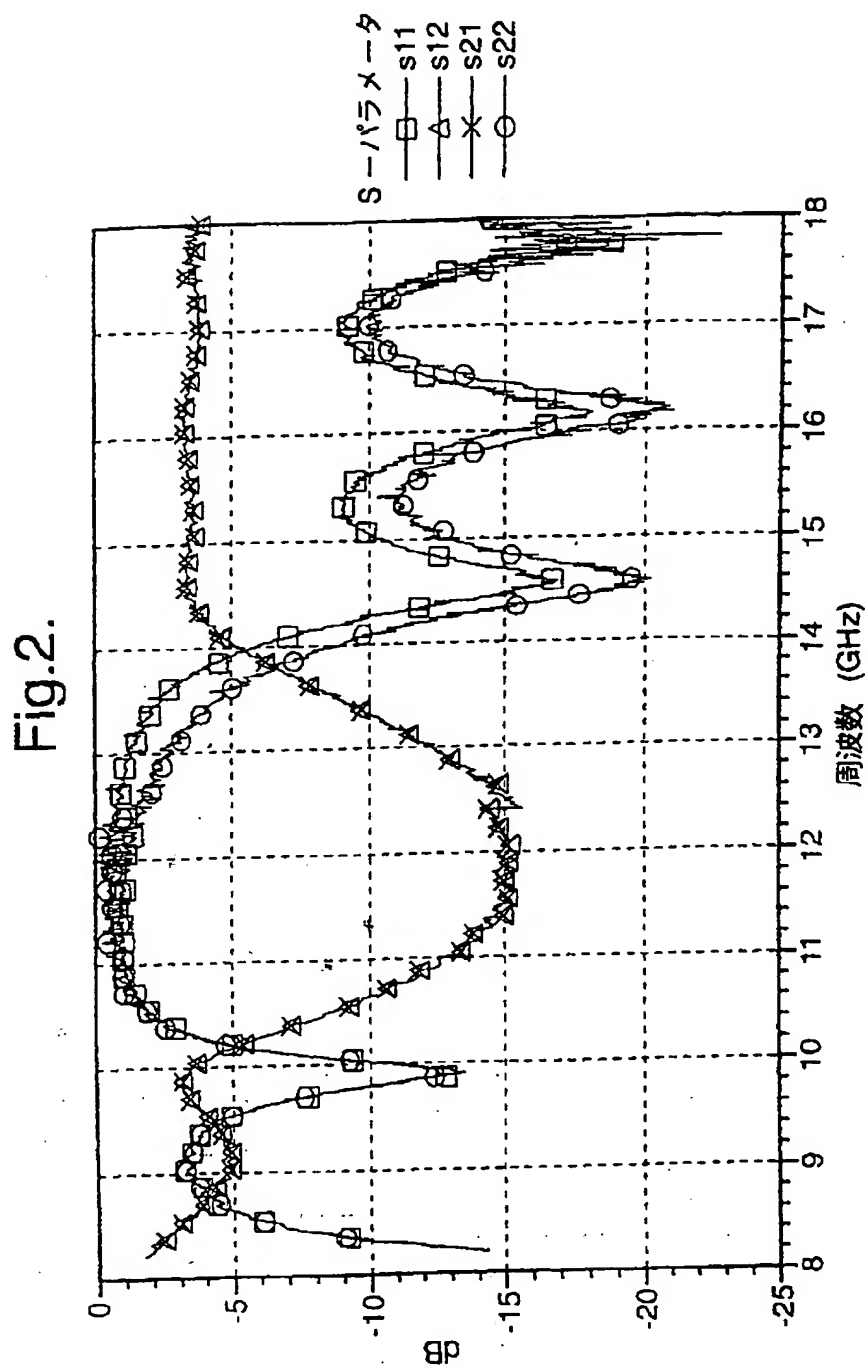
- 5c HO, K-M., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C.M., BISWAS, R., and SIGALAS, M., Photonic Band Gaps in Three Dimensions: New Layer-by-Layer Periodic Structures, Solid-State Communications, 89, (5), 413-416, 1994; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D. M., Terahertz Spectroscopy of Three-dimensional Photonic Band-gap Crystals, Optics Letters, 19, (15), 1994年8月1日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., SIGALAS, M., and HO, K-M., Micromachined Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, App. Phys. Letts. 64, (16), 2059, 1994年4月18日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D.M., Double-etch Geometry for Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, Appl Phys. Lett. 65, (13), 1617, 1994年9月26日; OZBAY, E., ABEYTA, A., TUTTLE, G., TRINGIDES, M., BISWAS, R., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C., and HO, K-M., Measurement of a Three-dimensional Photonic Band Gap in a Crystal Structure made of Dielectric Rods, Phys Rev. B50, (3), 1945, 1994年7月15日.
- 5d BROMMER, K., MULLANEY, H., MEADE, R., RAPPE, A., and JOANNOPOULOS, J., Low-Loss Dielectric Resonant Devices, Int. Patent Classification H01P 1/207, H01Q 15/00 G02B 5/18, 5/28, Int. Publication No. WO 92/15124, 1992年9月3日.
- 6 CHENG, S.D., BISWAS, R., OZBAY, E., McCALMONT, S., TUTTLE, G., and HO, K.-M., Optimized dipole antennas on photonic band gap crystals Appl. Phys. Lett. 67, 3399, (1995).
- 7 LEUNG, K.M. and LIU, Y.F., Phys. Rev. Letts., 65, 3152, (1991); ZHANG, Z. and SATPATHY, S., ibid. 65, 2650 (1991); HO.M., CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C.M., ibid. 65, 3152 (1991)

【図1】

Fig.1.

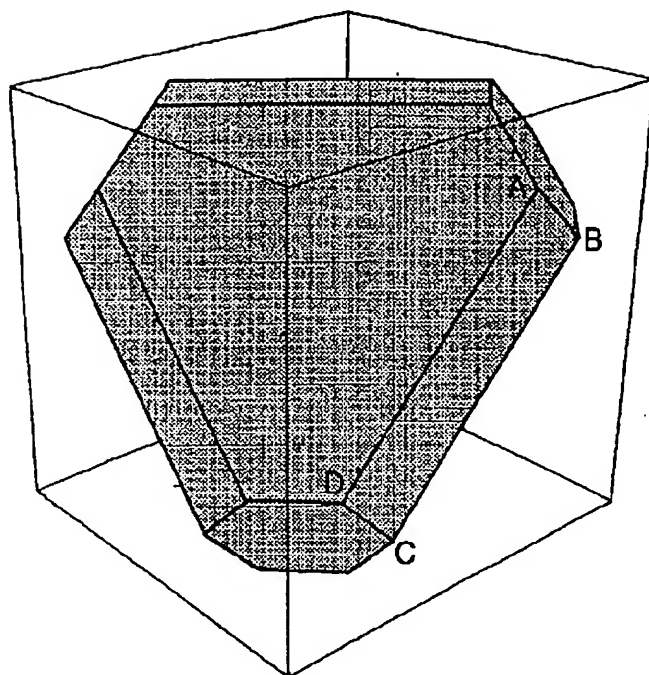


【図2】



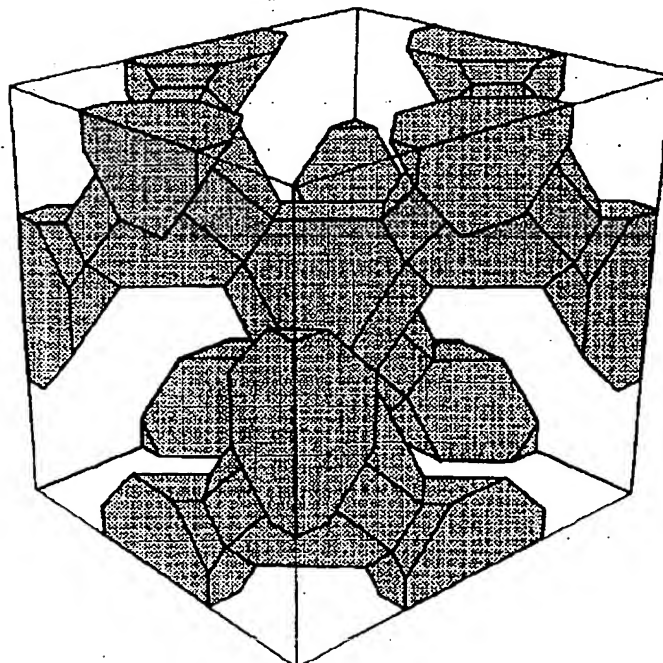
【図3】

Fig.3.



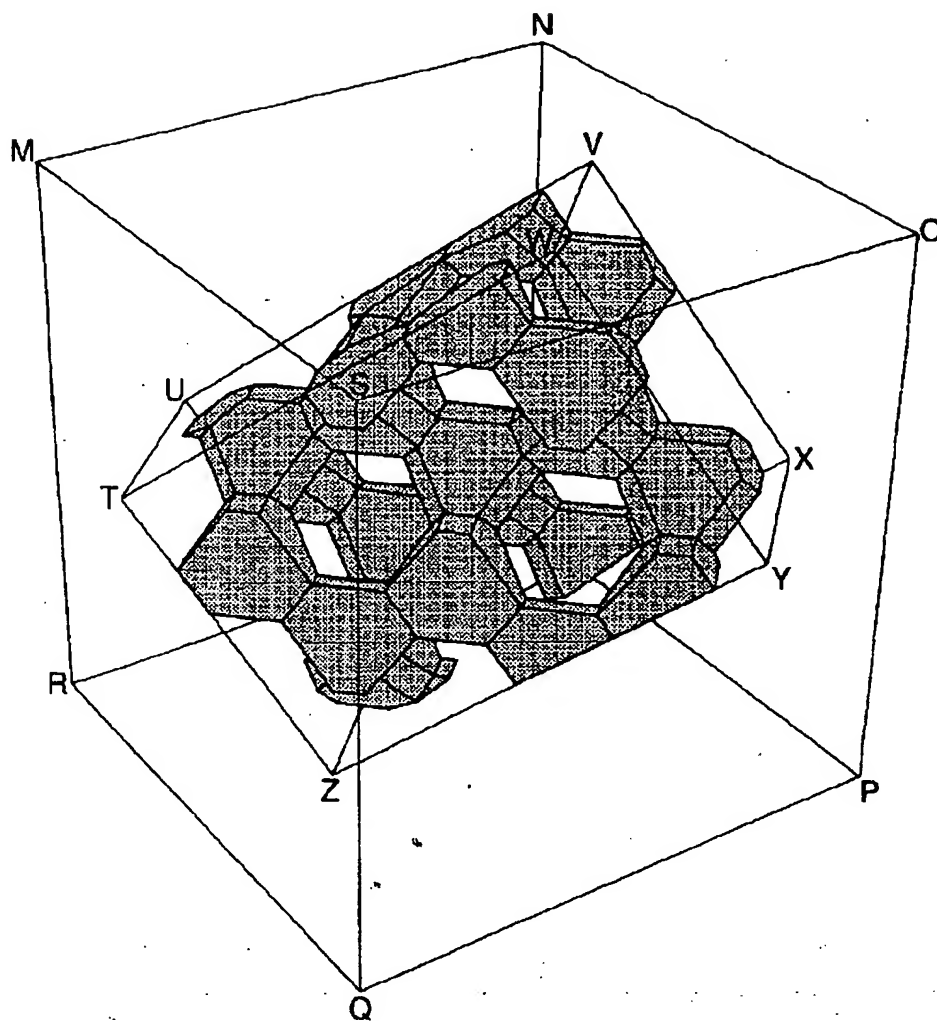
【図4】

Fig.4.



【図5】

Fig.5.



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/GB 97/02723		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 G02B6/12 B29C67/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 G02B B29C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	WO 96 42036 A (CALIFORNIA INST OF TECHN ;KEWITSCH ANTHONY S (US); YARIV AMNON (US) 27 December 1996 see page 8, line 4 - line 12 see page 21, line 12 - line 23 see page 27, line 29 - line 30 see page 34, line 7 - line 19; figure 17B see page 35, line 26 - page 36, line 5 ---	1,2,4,10
P,A	WANKE ET AL.: "Laser rapid prototyping of photonic band-gap microstructures" SCIENCE, vol. 275, no. 5304, 28 February 1997, USA, pages 1284-1286, XP002051887 see page 1284, right-hand column, paragraph 2 - page 1285, left-hand column, last paragraph ---	1,2,4,10
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are cited in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 January 1998		Date of mailing of the international search report 06.02.98
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentplan 2 NL - 2200 RV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Ciarrocca, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No.

PCT/GB 97/02723

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 385 114 A (MILSTEIN JOSEPH B ET AL) 31 January 1995 see column 12, line 14 - line 20; figure 4 see column 12, line 30 - line 33	5,14-17
A	see column 4, line 53 - line 65 see column 9, line 22 - line 28 see column 9, line 44 - line 51 ---	1,4,10
A	WO 92 15124 A (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY ; LOCKHEED SANDERS INC (US)) 3 September 1992 cited in the application see page 3 see page 8, paragraph 2 see page 14 - page 16; figures 8-10A ---	1,5,10, 14,16,17
A	CHENG S D ET AL: "OPTIMIZED DIPOLE ANTENNAS ON PHOTONIC BAND GAP CRYSTALS" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 67, no. 23, 4 December 1995, pages 3399-3401, XP000618181 cited in the application see abstract ---	15
A	US 5 172 267 A (YABLONOVITCH ELI) 15 December 1992 cited in the application see column 3, line 16 - line 20 ---	1,5
A	US 5 245 466 A (BURNS MICHAEL M ET AL) 14 September 1993 see column 1, line 18 - line 23 see column 1, line 38 - line 44 see column 2, line 1 - line 25 see column 9, line 6 - line 18 ---	1,2,4,5, 10
A	WO 94 15389 A (UNIV IOWA RES FOUND) 7 July 1994 cited in the application see page 7, line 1 - line 13 see page 8, line 4 - line 28; figure 1 see page 10, line 14 - line 17 see page 15, line 3 - line 18 ---	1,5,10
A	WO 92 00185 A (HARRIS MARTIN RUSSELL) 9 January 1992 see abstract see page 2, line 1 - line 33 ---	1,2,10

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/GB 97/02723

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>CHAN C T ET AL: "A7 STRUCTURE: A FAMILY OF PHOTONIC CRYSTALS" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, vol. 50, no. 3, 15 July 1994, pages 1988-1991. XP000616822 see page 1988, right-hand column, paragraph 1 - paragraph 2 see page 1990, left-hand column, last paragraph - right-hand column, paragraph 1 -----</p>	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/GB 97/02723

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9642036 A	27-12-96	NONE	
US 5385114 A	31-01-95	US 5651818 A	29-07-97
		US 5680318 A	18-11-97
WO 9215124 A	03-09-92	US 5187461 A	16-02-93
		AU 1435192 A	15-09-92
		US 5471180 A	28-11-95
		US 5389943 A	14-02-95
US 5172267 A	15-12-92	AU 9050991 A	22-07-92
		WO 9211547 A	09-07-92
US 5245466 A	14-09-93	NONE	
WO 9415389 A	07-07-94	US 5406573 A	11-04-95
		US 5335240 A	02-08-94
		EP 0676092 A	11-10-95
WO 9200185 A	09-01-92	NONE	

フロントページの続き

(72)発明者 タブスター ポール リチャード
イギリス国 ウースターシャー ダブリュ
ーアール14 3 ビーエス モルヴァーン
セント アンドリュース ロード (番地な
し) ディーアールエイ モルヴァーン

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

Bibliography

(19) [Publication country] Japan Patent Office (JP)
(12) [Kind of official gazette] Official announcement patent official report (A)
(11) [Official announcement number] ** table 2001-502256 (P2001-502256A)
(43) [Official announcement day] February 20, Heisei 13 (2001. 2. 20)
(54) [Title of the Invention] Dielectric composite
(51) [The 7th edition of International Patent Classification]
B29C 67/00
G02B 6/12
[FI]
B29C 67/00
G02B 6/12 N
Z
[Request for Examination] Un-asking.
[Preliminary request for examination] Tamotsu
[Number of Pages] 26
(21) [Application number] Japanese Patent Application No. 10-517292
(86) (22) [Filing date] October 6, Heisei 9 (1997. 10. 6)
(85) [Decodement presentation day] April 9, Heisei 11 (1999. 4. 9)
(86) [International application number] PCT/GB97/02723
(87) [International public presentation number] W098/15858
(87) [International public presentation day] April 16, Heisei 10 (1998. 4. 16)
(31) [Application number of the priority] 9621049. 7
(32) [Priority date] October 9, Heisei 8 (1996. 10. 9)
(33) [Country Declaring Priority] Britain (GB)
(81) [Appointed country]
EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CN, GB, JP, US
(71) [Applicant]
[Name] British country

[Address] British country Hampshire G you 14 0-ell X FAN -- borrow Eye
VERI load (with no address) defense Evaluation and -- Research Agency
(72) [Inventor(s)]

[Name] German shepherd TERANSU John

[Address] British country Wooster Shache W R 14 3PS Mol Verne Cent
Andrews Load (with no address) dee R ray Mol Verne
(72) [Inventor(s)]

[Name] TAPUSUTA Pole Richard

[Address] British country Wooster Shache W R 14 3PS Mol Verne Cent
Andrews Load (with no address) dee R ray Mol Verne
(74) [Attorney]

[Patent Attorney]

[Name] Nakamura ** (besides six persons)

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

Epitome

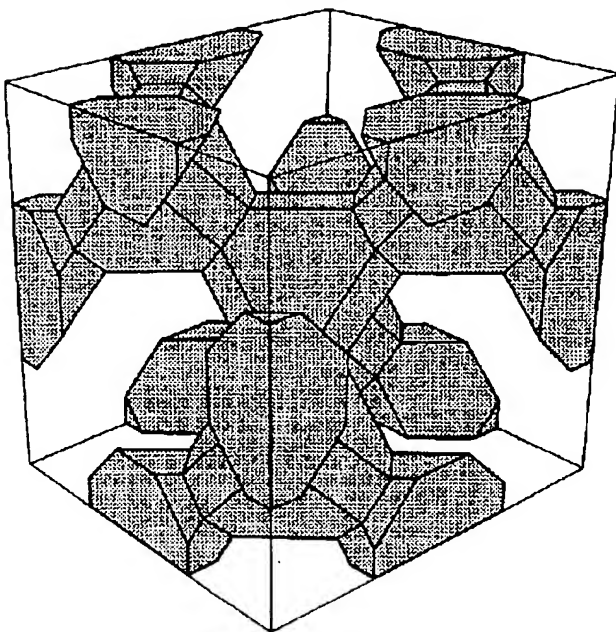
(57) [Abstract]

An approach with manufacture of a periodic dielectric composite including rapid growth of the 2nd dielectric component new at a flexible computer design stage. A laser stereolithography is used for forming a polymer ingredient for every layer according to photopolymerization of a liquid. The predetermined ingredient built by this method shows the barrier which is completely without a loss to microwave propagation through the ingredient about the band of a request of a frequency, and, generally is known as a photograph nick band gap crystal. It is new and this ingredient can offer the medium without a loss about a substrate without the reflection and loss for ***** and a ** band block filter, a ** bandeau fault filter, and a flat antenna, an oscillator cavity, and a waveguide. Furthermore, the new crystal structure suitable for

construction of the manufacture approach especially mentioned above and the polyhedron which carries out a chain is shown.

[Translation done.]

Fig.4.



[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

Direction which manufactures the dielectric composite which has the periodic spatial arrangement of 1.2 ingredients It is law. Said

ingredient has a fully different electric dielectric constant, and this composite The barrier to the electromagnetic radiation about the range of a frequency is offered. By the alternative partial polymerization of a batch monomer The three-dimensional structure is formed and it is said structure. The composite corresponding to a high electric dielectric constant ingredient, and low electric dielectric constant of a void It has an ingredient. A high dielectric constant ingredient is cast in said void. How to have a step.

2. said three-dimensional structure -- laser -- using -- alternative partial photopolymerization of a batch monomer **** -- approach given in the 1st term of a claim formed.

3. Said high dielectric constant ingredient has high dielectric constant powder in the host polymer which can be hardened. Approach given in ** and the 2nd term of a claim.

4. To approach defined in any 1 term of the 1st term of claim thru/or the 3rd term Dielectric composite by which ***** was carried out.

5. Dielectric component stereo which has periodic spatial arrangement of low dielectric constant ingredient and high dielectric constant ingredient It has the electric dielectric constant from which it is JITTO and said ingredient differs enough, and is said KOMPOJITSU. TO offers a barrier to electromagnetic radiation about the range of a frequency, and is high dielectric constant material. The structure of a charge is a dielectric composite which is the polyhedron which carries out a chain.

6. Each polyhedron is ** of at least one edge and/or at least one top-most vertices. Dielectric KO given in the 5th term of a claim which is the truncated tetrahedron formed of ** MPOJITTO.

7. Dielectric composite given in the 6th term of claim from which each top-most vertices were removed.

8. Each truncated field formed of removal of the top-most vertices which each edge is removed and correspond is forward. Dielectric composite given in the 7th term of a claim which is a hexagon.

9. OFF which field of original tetrahedron of one truncated tetrahedron follows [said truncated tetrahedron] With the method of adjoining the field of the truncated edge of a head tetrahedron, it is a pair in six square shape each truncation top-most vertices. Dielectric composite given in the 8th term of a claim connected by becoming.

10. Contest a dielectric which has the periodic spatial arrangement of a low dielectric constant ingredient and a high dielectric constant ingredient It has the electric dielectric constant from which it is POJITTO and said ingredient differs enough, and is said component stereo.

JITTO offers the barrier to electromagnetic radiation about the range of a frequency, and is low [said]. Dielectric KOMPOJITSU which has the polymer in which the dielectric constant ingredient was formed of the polymerization TO.

11. Said high dielectric constant ingredient has the mixture of high dielectric constant powder and a host polymer. Dielectric composite given in the 10th term of a claim.

12. In the 11th term of a claim in which said high dielectric powder contains titanate-acid calcium Dielectric composite of a publication.

13. Claim 11th said whose host polymer is a vinyl ester polymer Dielectric composite given in a term or the 12th term.

14. said composite -- a symmetry cleavage defect (symmetry-breaking defects) -- having -- consequently, electromagnetic radiation -- receiving -- alternative transparency -- being generated -- this composite -- ** the 4th term of a claim which forms the part of a ** band notch filter even if there is nothing -- or -- Dielectric composite given in any 1 term of the 13th term.

15. A composite forms some substrates [at least] for dipole ANTE. Dielectric component stereo given in any 1 term of the 4th term of a claim to carry out thru/or the 13th term JITTO.

16. In order that some waveguides may be formed at least and this waveguide may receive electromagnetic radiation It has an input edge and an outgoing end and said dielectric composite inputs electromagnetic radiation. Example of a claim which has the symmetry cleavage defect which can be made to spread from an edge to an outgoing end Dielectric materials given in **** 4 term thru/or the 13th term.

17. Form the radiation receiving component in a cavity oscillator, and it is said composite. Symmetry cleavage defect in which electromagnetic radiation can be made to spread from an input edge to an outgoing end Dielectric composite given in the 4th term of a claim thru/or the 11th term which it has.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

- 2.**** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

Dielectric composite This invention relates to the approach of manufacturing a dielectric composite, and the dielectric formed of it. It means that a vocabulary composite means any media containing two ingredients which have a discontinuous interface between two ingredients. The band structure of :crystal ingredient with which electric band structure was known well for the engineer of almost all physics and electric engineering and which is a concept shows the range of the energy which can access the electron which moves in the inside of an ingredient under the effect of the impressed electric field. A special interest in this ingredient is an "electronic band gap" which prohibits the electron processed by the energy which requires the propagation under crystal. This gap is produced from the destructive interference of an electron wave function by which Bragg reflection was carried out from the crystal face formed from the periodic array of the atom with which it is [under crystal] consistent, or a molecule. The gap is useful, thermal and in case [which are electric conductivity] the starting macroscopic phenomenon [like] is explained, it is used in the design of a semi-conductor, and, so, is used for the design of an electron device.

Yablonovitch [1] and John [2] advocated that a similar principle should have been applied to the field of the electromagnetism (EM) spread to a periodic medium. That is, spatial periodic distribution of a dielectric constant can cause the "photograph nick band gap" whose EM electric wave is the range of the frequency forbidden in any directions of [in a periodic medium].

This ingredient is common knowledge as a "photograph nick crystal." They were that EM spectrum of the vocabulary a "photograph nick" is optical, and the mean relation with phenomenon of near infrared ray range, and according [this] to Yablonovitch etc. rather application range. However, the principle of this phenomenon is crossed to all EM spectrums, although the specific example advocated here is related with the microwave range, on these specifications, it should not restrict to the field of this invention or other range, and it should not be interpreted. The face-centered-cubic (FCC) crystal lattice was proposed by both

Yablonovitch and John noting that it was the optimal structure for seeing a photonic band gap at first. It has the almost spherical Brillouin zone of all 14 BCC grids, and has mostly completeness (that is, it extends exceeding all 4π steradians), and an absolute (namely, both EM and optical) band gap. All explanation of the perfect crystal structure needs the detail of a method (the contents of the unit cell) as a dielectric distribution function in space.

Yablonovitch etc. was able to show existence of the perfect and absolute photonic band gap of a microwave frequency [3]. Ingredient stycast without the high dielectric constant of the same kind and the loss which have exclusive rights. The effectiveness in the FCC crystal formed by thrusting into Hi-K (trademark) was shown with the sufficient result. This ingredient manufactured by Emerson and Cumming (a part of current W.R. Grace) is a composite which has a low dielectric constant polymer (polystyrene) and the filler (titanium dioxide) of the powder of a high dielectric constant. It is marketed in the range of dielectric loading equipped with the dielectric constant of 3 to 30. Yablonovitch chose the dielectric constant 12 (the closest to the dielectric constant of GaAs, and 13.6 on an optical frequency). Structure was manufactured by piercing the gap of three round cylindrical shapes through each point in arrangement of the hexagon of the point of the front face of a polymer. Each cylinder is 34.26° in include angle, and has three gaps with an include angle of 120° perpendicularly on an azimuth mutually.

A surface hole is divided by 11mm and has the radius of 0.5mm. This perforation process builds the structure where the gap of a cylindrical shape crosses within an ingredient so that an FCC crystal may be formed in the [111] directions with the single shaft of the symmetry. Structure is 78% sky. This is license (patented) structure [3a], and is called "Yablonovite" [4a].

Yablonovitch [3] proposed another structure accompanied by carrying out the drill of the three-set hole in a flat surface perpendicular to the [111] directions again. The latter structure has the symmetric property of perfect 6 folding (fold) diamond, and manufacturing using the perforation approach proved that activation was impossible. It is predicted that it has a larger band gap than 3-cylinder structure [4b]. It is shown by Yablonovitch [3] that a 3-cylinder ingredient controls propagation in level of 9dB per crystal layer. [111] in a direction, the 15GHz crystal of six layers exceeds a frequency gap by the conversion spectrum exceeded more than 20% width of face of center frequency --

50dB of weakening is shown. Furthermore, when important one is carried out because the loss in a crystal structure destroys an internal dielectric bridge, a thin transmission peak appears in the core of a gap [5].

Another structure for manufacture of a three-dimension photograph nick crystal is explained to refs. 5a, and 5b and 5c. This is usually a rectangular sectional view including the arrangement for every layer of a dielectric rod which separated spacing. The usefulness of this system is being able to manufacture, when structure's carries out the stack of the wafer of a 1-dimensional etching grating.

Each of such structures is a very special type, and is connected with the special approach of manufacture. In fact, as for a principle top, the structure of the infinity which can cause a photograph nick band gap phenomenon exists. one of the structures of such is able to have a physical attribute (namely, the width of face of the gap as dielectric contrast to which the component was given -- related) better than these. Control of the propagation in an ingredient is reflected in all the incident radiation in a band gap at all include angles, without being accompanied by loss of absorptivity, and gives the block of a crystal effectively. This is just an attribute about the matter in the semantics of POTENSHISHARU application accompanied by the alternative spectral transmittance in a stop band.

You may be made so that band GYAFFU itself may give a large (to 30% of center frequency [4]) blocking filter, and installation of a symmetrical cleavage defect can cause the conversion window in a gap. It may be made very thinly about the width of face of a gap. A result is a narrow-band notch filter.

A photograph nick crystal acts as an effective mirror, it is a full reflective substrate for a dipole antenna, and other potential applications are [most radiations to generate are changed and] made not to be absorbed with this substrate. In early investigation, it has already had the effectiveness improved from this antenna [6]. It is a medium without the loss for a waveguide and a cavity oscillator of the further application. A majority of further applications of such structures are shown in 5d of bibliographies.

This invention uses use of (Stereolithography SL) high-speed prototype. SL is one of many the high-speed prototyping techniques which can manufacture a wide range three-dimension object. SL equipment (SLA) is a three-dimension object by the computer filing built by the computer aided design (CAD) workstation system which is visible with the naked eye built in several hours.

This design is carried out using the solid modeling CAD software which has exclusive rights. A software package contains the filter which makes a CAD file output to .STL file (.STL as standard addition for the file type used by high-speed prototyping). . An STL file is corrected using the software ("Bridgeworks") which has exclusive rights so that the supporting structure needed may be included subsequently to construction of a cube. Software which finally has the further exclusive rights ("Maestro" supplied by 3D system.) Referring to the following calculates a suitable parameter from a three-dimension object to make an SLA machine drive via attached PC computer.

According to this invention, it is the approach of manufacturing the dielectric composite which has the periodic spatial arrangement of two ingredients. Said ingredient has a fully different electric dielectric constant, and this composite offers the barrier to the electromagnetic radiation about the range of a frequency. By the alternative partial polymerization of a batch monomer Forming the three-dimensional structure, said structure has a composite corresponding to a high electric dielectric constant ingredient, and the low electric dielectric constant ingredient of a void. It is the method of having a step of casting a high dielectric constant ingredient in said void.

Preferably, the three-dimensional structure is formed of alternative local photopolymerization of the batch monomer which uses laser, and a dielectric, still more desirable more high ingredient has the high dielectric powder in the host polymer which can be hardened.

According to the 2nd mode of this invention, a new crystal has the structure of Tapsterite which is explained here.

Next, with reference to the following drawings, only an instantiation-thing indicates this invention.

Drawing 1 shows the performance data about the transparency property of the 1st sample by this invention.

Drawing 2 shows the performance data about the transparency and reflection property of the 2nd sample by this invention.

Drawing 3 shows the truncated tetrahedron with which the new crystal structure was made by this invention.

Drawing 4 shows the 1st unit cell corresponding to the crystal structure made by this invention.

Drawing 5 shows the 2nd unit cell corresponding to the crystal structure made by this invention.

The main manufacturers of an SLA machine are 3D Systems(es) in U.S. California Valencia. SLA-250/40 machine used with the specific operation gestalt of this invention consists of an ultraviolet-rays screen which

includes the 254mmx254mmx254mm bat of SL-5170 liquid resin. Resin manufactured by Ciba-Geigy (C)

IBATool®SL樹脂)は、紫外線に曝されることによって硬化される。シ

A stem includes the 25mW HeCd laser emitted by 235nm. Internal optical system detects a laser beam on the surface of resin, and beam width is about 0.2mm. According to the digital instruction transmitted from connected PC computer, optical system continues on the surface of resin, and scans a beam.

Local curing is performed on the surface of resin. A surface perfect scan carries out the polymerization of the layer of resin with a thickness of 0.125mm alternatively on the elevator platform positioned directly under the front face. It is in the lower part in a resin bat, and, subsequently is bottom of front face of liquid resin 0.

After each class which goes up to the location of 125mm scans an elevator platform, the next laser scan is ready. Therefore, the three-dimensional structure is built for every (layer-by-layer) layer to desired height. It leaves as it is in order to be raised from a bat by the end of construction of the structure (structure) and to dry superfluous liquid resin from the structure by it.

Subsequently, in order to remove the superfluous remaining liquid resin, isopropyl alcohol (IPA) (namely, propane-2-ol) or tripropylene glycol monomethyl ether (TPM) is used, the structure is washed, finally, it hardens with postcure equipment (PCA) and all the non-hardened monomers that bathe themselves and remain the washed object are stiffened by ultraviolet rays.

The manufacture process adopted as this program includes the following phases. First, high dielectric constant structure is designed on a CAD platform, and is changed into negative structure. That is, a high dielectric constant field is empty, and it is also the same as when reverse. Subsequently the file produced as a result is changed into the format which can be read by the rapid prototype machine, the stereolithography equipment, i.e., SLA, in this case. SLA grows up negative preforming. The object produced as a result is low dielectric constant (epoxy resin) mold, and can carry out the vacuum cast of the high dielectric constant ingredient.

In fact, the inserted ingredient includes the high dielectric constant powder loaded with liquid resin. An SLA epoxy dielectric constant is low enough about the composite material for having a sufficiently high dielectric constant because of formation of an enough and absolute optical band gap (it is the relative dielectric constant of 3 to Ciba-

Geigy SL 5170 in the microwave frequency 2 thru/or 30GHz).

This approach includes initial manufacture of periodic ingredients other than SL polymer using the standard SL approach mentioned above. In fact, this includes the design (specification) of the beginning of the geometry of the related structural unit cell in CAD software. In this example, SL polymer is specified with the low dielectric constant component of a crystal.

The next software actuation defines the duplicate of an unit cell, in order to make periodic structure. The further actuation can correct structure, in order to define a related device.

The structure or a device grows using a standard SL technique.

The clearance between the empty of structure is filled with the high dielectric constant ingredient which offers a required constant. In fact, this is low loss powder equipped with the host polymer which can be hardened, and includes preparation of padding which consisted of mixing of a high dielectric constant. Padding is introduced into SL resin mold, is poured in under a vacua, and is solidified after that.

The 1st sample is prepared using the Aries three-dimension modeling CAD software developed by MacNeal Schwendler Corporation by the cube unit cell whose side is 9.86mm in Sun Workstation. For the 2nd sample, the side is 17.08mm and 12 with the system same again as having been used by the design of the 1st sample.

It is prepared by designing a cube form unit cell (08mm and 6.97mm). The structure used about both samples is a crossing tetrahedron type which is indicated by others. Some adopted padding is designed by a low dielectric constant ingredient thru/or 30% quantity dielectric constant ingredient 70%. The dielectric constants measured by the degree of a component are 3 and 12.5.

Two unit cells filed in the STL format It is transmitted to a SiliconGraphics Indy workstation and sets to the 1st sample. The layer of a 23x4 unit-cube unit cell is set to the 2nd sample. It is reproduced so that the layer of a 20x2 cube form unit cell may be given using possession Maestro software. (It was supplied by 3D System Inc.)

Subsequently The grid of a support is added to structure using the possession (provided by Solid Concepts of U.S. California Valencia) software Bridgeworks. It is used for Maestro software calculating a parameter required for an SLA machine again in order to build structure. This is an automatic "slice (slicing)" routine calculated from the parameter of each slice of SL polymer with which the last object is built. PC software outputs four (named a "vector", the "range", the "layer", and the "parameter") "construction" files.

Subsequently, the file output from a workstation is inputted into PC computer connected to the SLA machine, and includes System Controls of tware (supplied by 3D System Inc.) 3D Build, a machine is ordered in order to build a lower layer by related support, but it is ordered in order to build the same following layer positioned perpendicularly on the layer which exists without a support respectively. About the 1st sample, a dimension is abbreviation 227mmx227mmx40mm, height is 23 cube unit cell, a dimension is abbreviation 242mmx237mmx34mm about the 2nd sample, and the height of the structure of the made last is 34 cube form unit cell.

(It corresponds to a cube unit cell) Bearing of the 1st sample is arranged so that a big field may express the [100] directions of a crystal. (It corresponds to a cube form unit cell)

Bearing of the 2nd sample is arranged so that a big field may express the [111] directions of a crystal.

Subsequently, a sample is washed by TPM and hardened by PCA mentioned above.

Padding of a high dielectric constant chosen in order to pour into a preform sample is titanic-acid calcium. A polymer host is the low viscosity vinyl ester system manufactured by Scott Bader of Derakane 8084 which uses ButanoxLPT as a catalyst.

Titanic-acid calcium powder is mixed by liquid resin padding to the level of 37 volume %. Gel time is shown and tested by 5% of the weight of a catalyst, and 5% of the weight of the promoter when added to the resin system to which the end-crater period which can be used, and which gets for 30 minutes was given.

The mixture which was subsequently analyzed with the dielectric probe by obtaining the solid-state hardening sample of mixture first, and being able to harden, and recorded the value of the relative dielectric constant of 12.5 on the frequency of 10GHz within the limits of the accuracy of equipment at the imaginary part of zero (with accuracy of $\pm 0.1i$), namely, was hardened shows trifling loss on the measured frequency.

A vacuum cap equipped with 5 point sampling is made for impregnation of a sample. This cap is manufactured [epoxy resin] in a single mold top using the glass fiber infiltrated beforehand. After that, British Standard pipe connection is added through the hole which was able to be made in the cap, and is connected to a vacuum pump through a vacuum trap. What was made so that greatly [whether resin tanks are fewer than the sample in which it is poured in and deals] is used.

A vacuum pump is switch-on and can work until it is lengthened in a

resin trap from the block with which the resin which does not have air bubbles was poured in. Subsequently the tap of a connection pipe is closed and a vacuum pump is made switch-off. Subsequently to the crowning of a block, surplus resin is removed using a soaping machine to near level. If resin hardens to a jelly-like consistency (about 30 minutes), a block will be removed, surplus resin will be rubbed and a vacuum cap will once be removed. Resin can be hardened completely and a block is removed after that.

Either of the 1st sample is positioned by 60cm and the propagation property of the 1st sample manufactured by the above-mentioned approach is measured across the range of a frequency using a Flann Microwave DP240 broadband transmitter and a receiver horn so that radiation may pass the 1st sample perpendicularly to the big field [100] crystal orientation.

A propagation signal is generated by Hewlett-Packard Vector Network Analyser 8720B which offers 2 thru/or the sweep frequency of 20GHz. A propagation signal is analyzed by the same Network Analyser and expresses measured value as a 200kHz interval. The smooth part of a propagation response is shown in drawing 1. It has a core in about 14GHz, the drop of about 10dB propagation is shown about the value of 12GHz, and the value is predicted by numerical calculation. The width of face of a gap is about 3GHz, and is about 20% of center frequency. The transparency and reflection property of the 2nd sample which were manufactured by the above-mentioned approach are measured across the range of a frequency using a microwave transmitter, and a receiver horn processes a true Gaussian distribution beam profile. (The inside periphery side of a horn is a wave.) A transmitter horn is located in 0.5m from a machine paraboloid mirror, and reflects incident radiation at 90 degrees to the [111] sides of the 2nd sample positioned by 0.5m from the mirror. The radiation penetrated through the 2nd sample is reflected in the 2nd same receiver horn by the same mirror at 90 degrees. It connects with Wiltron360 circuit analyzer and each horn interfaces by the personal computer controller shortly. In order to generate a signal from 8.2GHz to 18GHz, a 6737B synthesizer is used for the system concerned.

The signal penetrated and reflected is analyzed by the same circuit analyzer, and is expressed as a 200kHz interval. In transparency and a reflectance spectrum, one pair covers the range of 8.2GHz thru/or 12.4GHz, and the 2nd is obtained exceeding the frequency interval which covers the range of 12.4GHz thru/or 18GHz and which is given using a pair of two different horns.

The spectrum of a result is shown in drawing 2 . Parameters s11 and s22 show the reflection coefficient of the 2nd sample about the radiation incidence over two [111] sides which counter, and s12 and s21 show the transmission coefficient corresponding to each field. A transmission coefficient shows the drop of about 12dB transparency about the value in 15GHz, and a drop has a core by about 12GHz which is the value predicted by numerical analysis. the width of face of a gap -- about 4GHz -- it is -- a main frequency -- about -- $1/3$ -- it is . The reflection factor s22 of the 2nd sample rises by about 20dB in the band gap to the value in 14.5GHz. The difference of the reflection observed between the measurement expressed by s12 and s21 shows the small asymmetry in the 2nd sample between two fields which will be produced if it carries out by accident from the slight incompleteness (bubble) in the high dielectric filter which occupies the desirable location in the cavity currently filled.

In addition to 3- and 6-cylinder Yablonovite structure which were mentioned above, the further structure which consisted of tetrahedrons which cooperated was invented. The artificer named "Tapsterite" structure.

It has the diamond symmetry with the perfect 6-cylinder Yablonovite, and shows a band gap larger than the 3-cylinder Yablonovite about the same dielectric constant in this way.

Since it is the structure which mainly consisted of not the curved front face but a flat surface, and a straight edge, itself cannot be added to the easy manufacture which uses the approach of standard machining.

However, since Aries software stores a front face not as a curve but as a fundamental field about any approaches of carrying out the first design with CAD equipment, concerning the ideal SL approach The file size whose STL file which describes 254 unit cells of the 3-cylinder Yablonovite is 24.8 M bytes is occupied. The unit cell of the number with the same 6-cylinder Yablonovite occupies 35 M bytes (cylindrical hole of each round shape which consists of an even facet of 40 in this example), and 9.1 M bytes of Tapsterite is occupied in the cel of the same number. To the 2nd, SL construction is as early as the laser scan of resin having been defined by the straight line.

Tapsterite has the description that the negative structure is the gestalt (it has the joint packing fraction, of course) of Tapsterite again.

The following is the geometric publication of the high dielectric constant part of Tapsterite structure. This structure consists of a truncated tetrahedron. Each truncated tetrahedron is formed of

truncation of a regular tetrahedron (based on the unique configuration of the description). Removing a small regular tetrahedron from each top-most vertices or the angle of a tetrahedron which is three fields constituted by three fields of an original tetrahedron, these four tetrahedrons are the same sizes.

The body produced as a result is further truncated by removing six edges (line by which the field of an original tetrahedron crosses) so that it may cut from the core of an original tetrahedron along a perpendicular rectangle flat surface to the line drawn to the central point of each edge. As for the location of this field, the top-most vertices where the original tetrahedron was truncated show a forward hexagon flat surface now. Drawing 3 shows this tetrahedron truncated completely, and one example in a cutting edge is a rectangle ABCD.

Once a truncated procedure determines the degree of truncation of each top-most vertices, it is unique. The packing fraction about the presentation component of a final crystal is determined by this degree of truncation.

:TTs by which the crystal structure is defined by connection of a truncated tetrahedron (TTs) in the following approaches is the method of adjoining the field of an edge where TT which the field of the original tetrahedron of one TT follows was truncated, and is connected as a pair in respect of each forward hexagon truncation.

The line which combines the core of a rectangular field that a crystal (and used also for generating 1st sample mentioned above) cube unit cell is constituted by the cube which includes eight TTs(es) exactly (truncated when required) in the following specific bearings, and :each TT counters is parallel to the field of the cube surrounding a cube cel. Even in what kind of direction, the contents of the cube cel are engaged in linearity advancing side by side of arbitration, and are constituted. Drawing 4 shows the example of this cube unit cell, and includes five perfect TTs(es) and 12 $1/4$ TTs(es), and the core of $1/4$ TTs is located in a part for the core of 12 of an unit cell edge here.

The cube form (cuboid) unit cell used for generating the 2nd sample which was mentioned above is based on the structure of another bearing, and is shown in drawing 5 . A cel makes a cube form equipped with top-most vertices (it is visible) T, U, V, W, X, Y, and Z. It is formed by excepting the ingredient the outside of the indicated cube form, and inside the shown envelopment cube equipped with top-most vertices (it being visible) M, N, O, P, Q, R, and S. (Before excepting) The contents of the cube of this latter are defined as contents of eight cube unit cells which were indicated in the paragraph before truncating in order

to form a bigger cube. When system of coordinates are referred to, the zero of a coordinate is the core of this big cube. A point (x y, z) It is indicated by the coordinate x which has a zero by (0, 0, 0), and y and z. Subsequently the top-most vertices M, N, O, P, Q, R, and S of a big cube -1, (1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, -1), (1, -1, -1), and (-1, -1, -1) -- and (1 -1, -1) (1 1 -1) -- ***** -- it can indicate. [the value (1 -1 -1) of specification respectively] Subsequently an internal cube form top-most vertices (it is visible) T, U, V, W, X, Y, and Z It has a specific value (1 - 1/2, - 0), -1, -1 / 0, 0, 1/1, 1/1, 1/0, 1, 1/0, and (0, -1/2, -1). [(2, 0)] [(2, 1)] [(2, 0, 1)] [(2, 1, 0)] [(2, 0)]

In any directions, the contents of the cube form are engaged in linearity advancing side by side, and are constituted, and the contents of this cube form serve as an unit cell repeated in order to make a perfect crystal lattice equipped with desired bearing.

参考文献

- 1 YABLONOVITCH, E., Inhibited spontaneous emissions in solid-state physics and electronics, Phys. Rev. Lett. 58, 2059, 1987.
- 2 JOHN, S. Strong localisation of photons in certain disordered dielectric superlattices, Phys. Rev. Lett. 58, 2486, 1987.
- 3 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T. J., and LEUNG, K. M., MEADE, R.D., RAPPE, A. M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, K. M, 3-dimensional photonic band structure, Opt. And Qu. Elect., 24, S273, 1992.
- 3a YABLONOVITCH, E., Optical Reflector Structure, Device, Method of Fabrication, and Communications Method, Int Patent Classification G02B X, Int. Publication No. WO 92/11547, 1992 年 7 月 9 日
- 4a JOANNOPOULOS, J.D., MEADE, R.D., and WINN, J.N., Photonic Crystals: Molding the Flow of Light, (Princeton University Press, Princeton, N.J., 1995).
- 4b CHAN, C.T., HO, K.M., and SOUKOULIS, C.M., Photonic band gaps in experimentally realizable periodic dielectric structures, Europhys. Lett. 16, 563, 1991.
- 5 YABLONOVITCH, E., GMITTER, T.J., MEADE, R.D., RAPPE, A.M., BROMMER, K.D., and JOANNOPOULOS, J.D., Donor and acceptor modes in photonic band structure, Phys. Rev. Lett. 67, 3380, 1991.
- 5a OZBAY, E., TUTTLE, G., MICHEL, E., HO, K-M., BISWAS, R., CHAN, C-T.C., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure for Production of Photonic Band Gap and Method for Fabricating the Same, 米国特許第 5,406,573 号, 1995 年 4 月 11 日。
- 5b HO, K-M, CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C., Periodic Dielectric Structure of Photonic Band Gap and Devices Incorporating the Same, US Patent No. 5,335,250, Aug. 2, 1994; Int. Patent No. H01S3/18, Int. Publication No. WO 94/15389, 1994 年 7 月 7 日

- 5c HO, K-M., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C.M., BISWAS, R., and SIGALAS, M., Photonic Band Gaps in Three Dimensions: New Layer-by-Layer Periodic Structures, Solid-State Communications, 89, (5), 413-416, 1994; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D. M., Terahertz Spectroscopy of Three-dimensional Photonic Band-gap Crystals, Optics Letters, 19, (15), 1994 年 8 月 1 日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., SIGALAS, M., and HO, K-M., Micromachined Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, App. Phys. Letts. 64, (16), 2059, 1994 年 4 月 18 日; OZBAY, E., MICHEL, E., TUTTLE, G., BISWAS, R., HO, K-M., BOSTAK, J., and BLOOM, D.M., Double-etch Geometry for Millimeter-wave Photonic Band-gap Crystals, Appl Phys. Lett. 65, (13), 1617, 1994 年 9 月 26 日; OZBAY, E., ABEYTA, A., TUTTLE, G., TRINGIDES, M., BISWAS, R., CHAN, C-T., SOUKOULIS, C., and HO, K-M., Measurement of a Three-dimensional Photonic Band Gap in a Crystal Structure made of Dielectric Rods, Phys Rev. B50, (3), 1945, 1994 年 7 月 15 日.
- 5d BROMMER, K., MULLANEY, H., MEADE, R., RAPPE, A., and JOANNOPOULOS, j., Low-Loss Dielectric Resonant Devices, Int. Patent Classification H01P 1/207, H01Q 15/00 G02B 5/18, 5/28, Int. Publication No. WO 92/15124, 1992 年 9 月 3 日.
- 6 CHENG, S.D., BISWAS, R., OZBAY, E., McCALMONT, S., TUTTLE, G., and HO, K.-M., Optimized dipole antennas on photonic band gap crystals Appl. Phys. Lett. 67, 3399, (1995).
- 7 LEUNG, K.M. and LIU, Y.F., Phys. Rev. Letts., 65, 3152, (1991); ZHANG, Z. and SATPATHY, S., ibid. 65, 2650 (1991); HO.M., CHAN, C-T., and SOUKOULIS, C.M., ibid. 65, 3152 (1991)

[Translation done.]

* NOTICES *

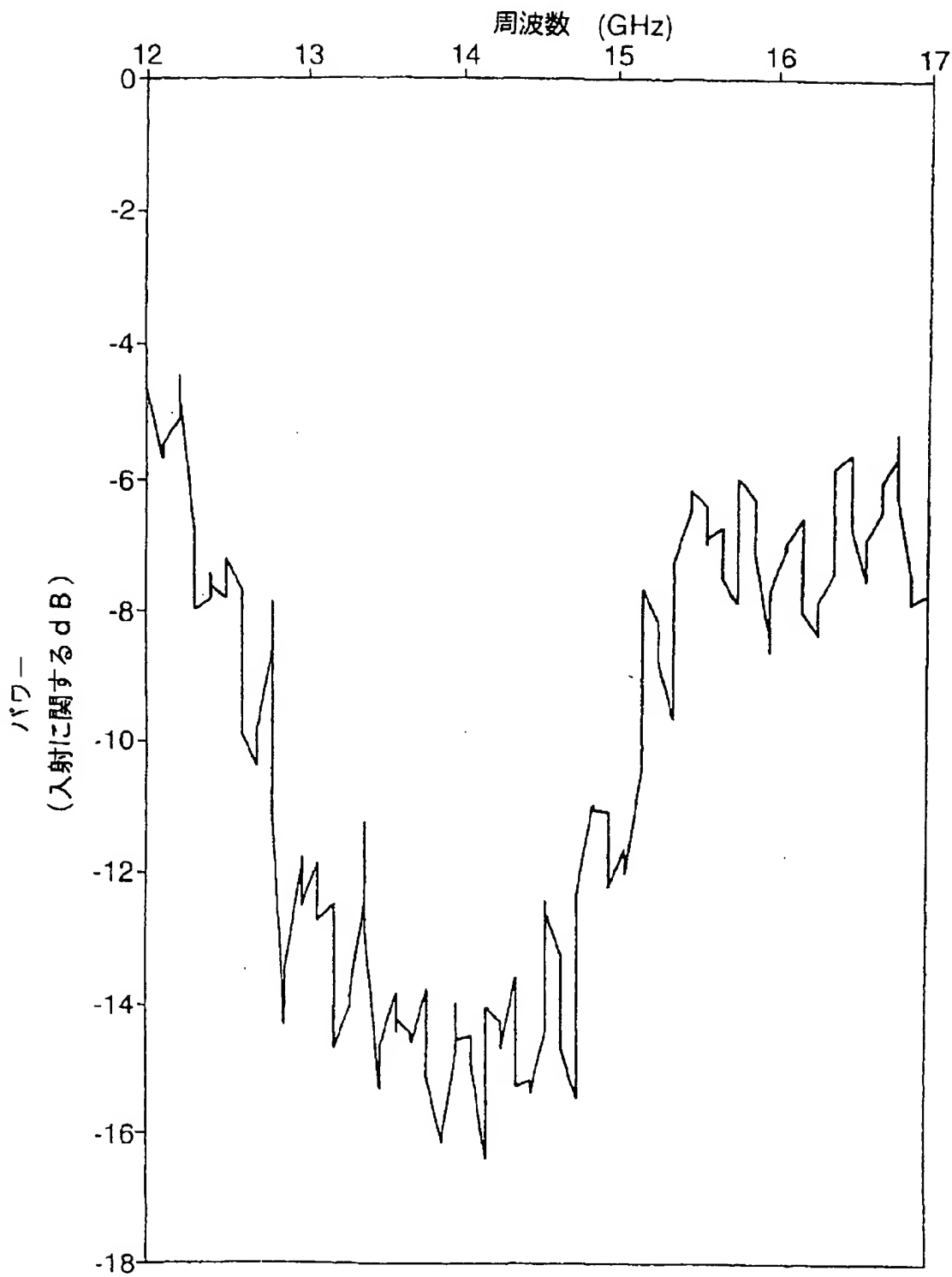
JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

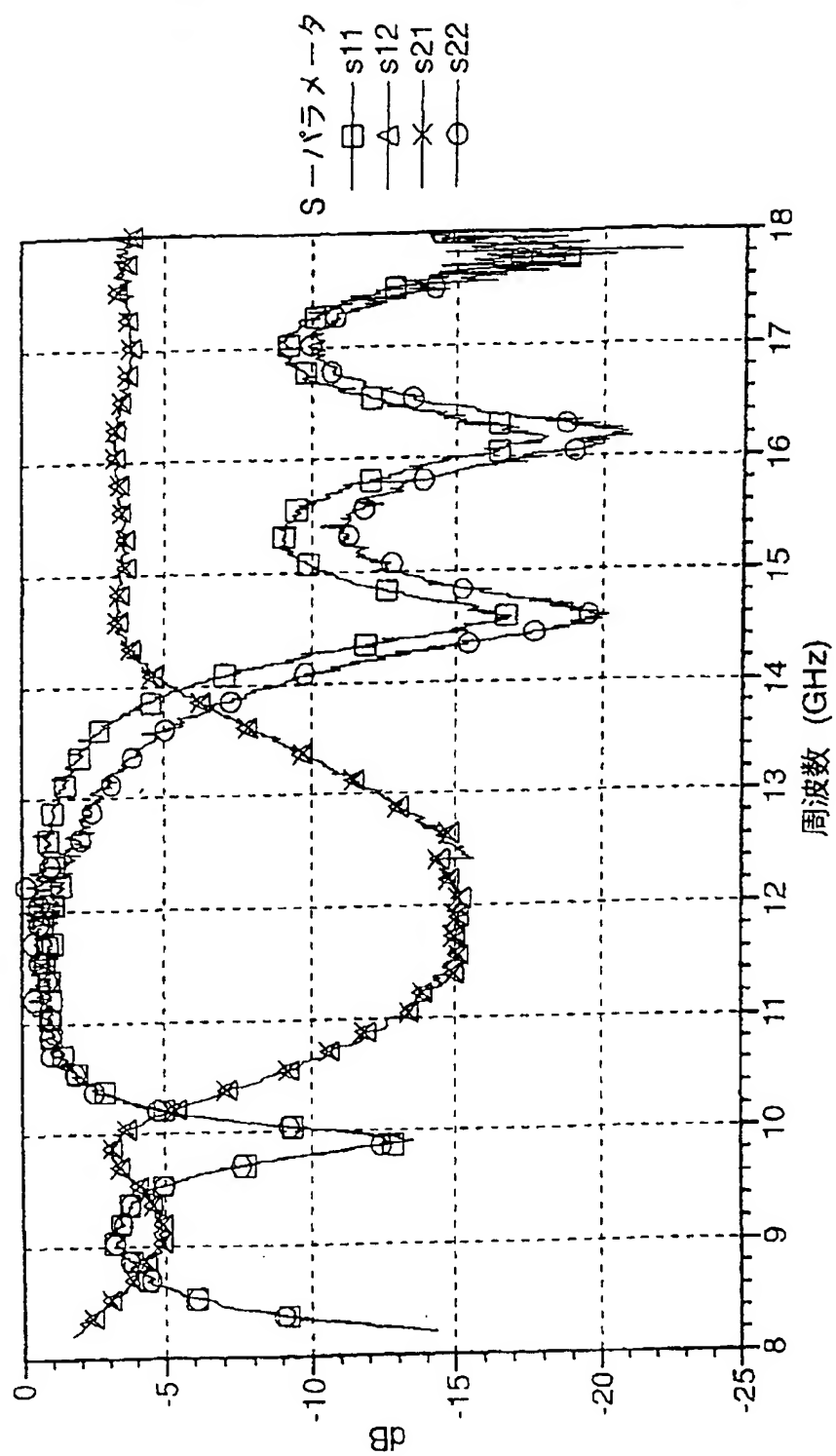
[Drawing 1]

Fig.1.



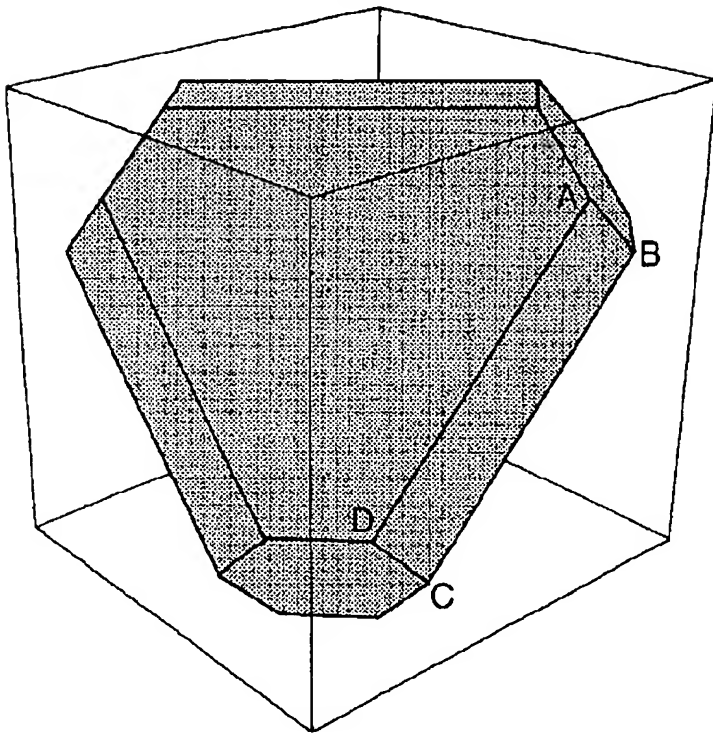
[Drawing 2]

Fig.2.



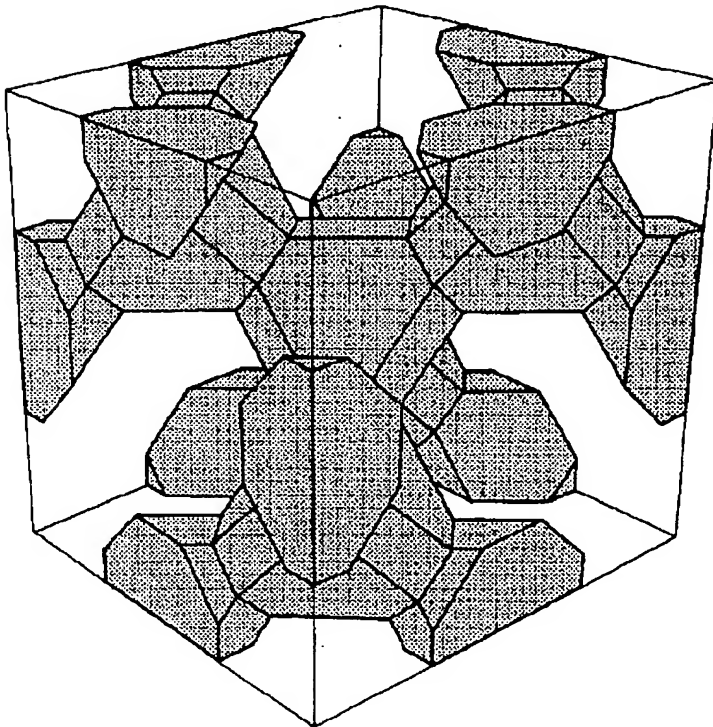
[Drawing 3]

Fig.3.



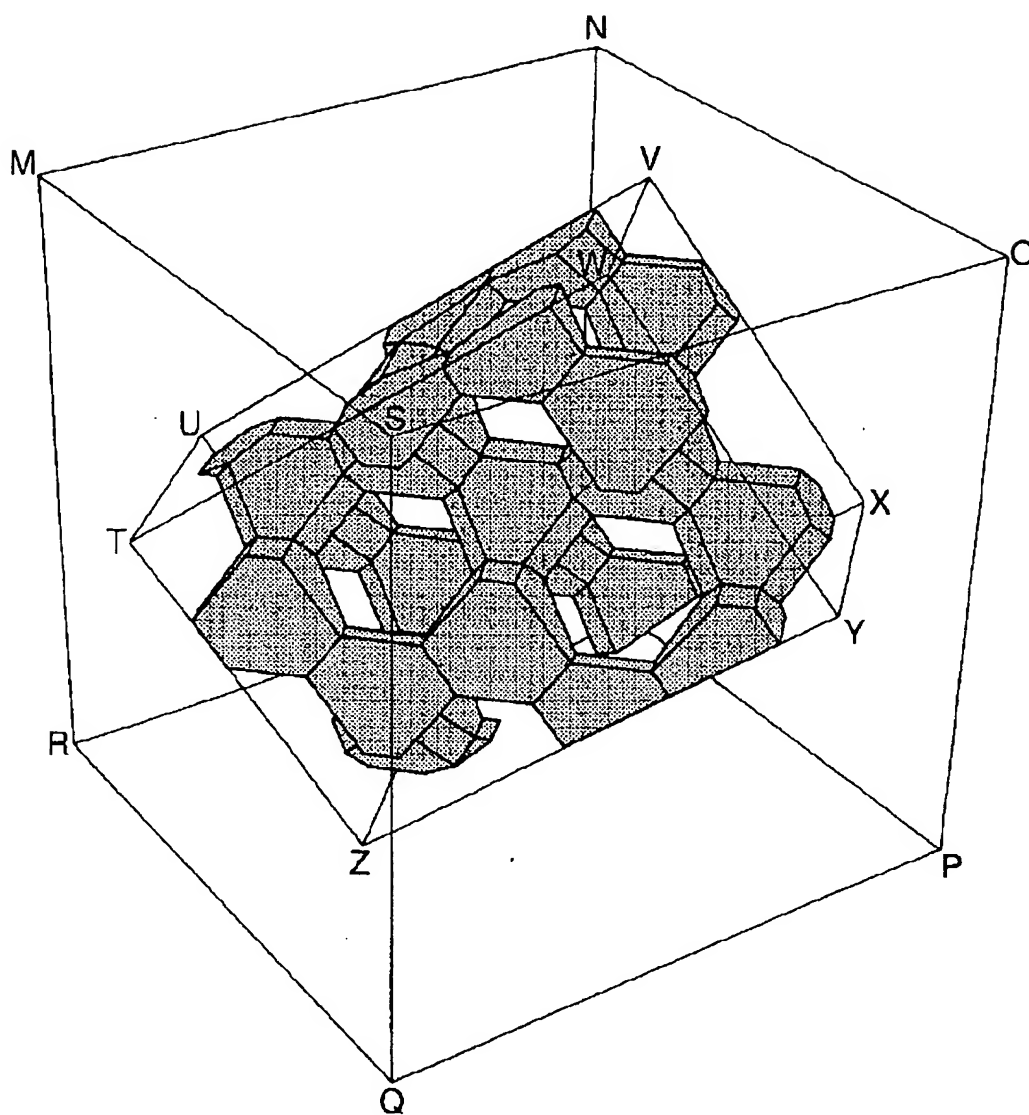
[Drawing 4]

Fig.4.



[Drawing 5]

Fig.5.



[Translation done.]